



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
LABORATÓRIO DE ANATOMIA VEGETAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Isabel Aparecida Brandalise

**Aspectos morfoanatômicos de *Eleocharis laeviglumis* (Cyperaceae)
ocorrente em ambiente contaminado e não contaminado por
Drenagem Ácida de Mina (DAM)**

Florianópolis
2015

Trabalho de Conclusão de Curso

Isabel Aparecida Brandalise

**Aspectos morfoanatômicos de *Eleocharis laeviglumis* (Cyperaceae)
ocorrente em ambiente contaminado e não contaminado por drenagem
ácida de mina (DAM)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Botânica da Universidade
Federal de Santa Catarina para obtenção do
grau de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Claudia Rodrigues

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Brandalise, Isabel Aparecida

Aspectos morfoanatômicos de *Eleocharis laeviglumis*
(Cyperaceae) ocorrente em ambiente contaminado e não
contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM) / Isabel
Aparecida Brandalise ; orientadora, Ana Claudia
Rodrigues - Florianópolis, SC, 2015.

28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas.

Inclui referências

1. Ciências Biológicas. 2. Processo de mineração. 3.
Metais pesados. 4. Macrófitas aquáticas. I. Rodrigues, Ana
Claudia . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Isabel Aparecida Brandalise

**ASPECTOS MORFOANATÔMICOS DE *ELEOCHARIS LAEVI*GLUMIS
(CYPERACEAE) OCORRENTE EM AMBIENTE CONTAMINADO E NÃO
CONTAMINADO POR DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciatura em Ciências Biológicas, e aprovado em sua forma final pela banca examinadora.

Prof^a Dr^a Ana Claudia Rodrigues

Prof^o Dr. João de Deus Medeiros – CCB/BOT - UFSC

Prof^a Dr. Neusa Stainer – CCB/BOT - UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo apoio e suporte durante o tempo que estou morando em Florianópolis. Sem o amor incondicional do meu pai Waldomiro e minha mãe Joice, nada disso seria possível. Agradeço ao meu irmão Bruno e cunhada Aliana por todo amor, paciência, compreensão e ajuda em absolutamente todos os momentos que precisei. E obrigada por trazerem ao mundo o melhor presente de nossas vidas, minha sobrinha Beatriz. Vocês são meus alicerces, meu maior tesouro. Amo vocês!

Agradeço a todos os meus amigos de faculdade por todo companheirismo durante esses cinco anos. Foram incontáveis horas de alegria que vocês me proporcionam. Além das inúmeras horas de estudo e desespero em que também estiveram ao meu lado, se desesperando comigo. Em especial aos meus eternos Amores da UFSC, Tayrine, Josi Dutra, Josi Wolff, Franzoca, Isadora, Amanda, Claudinha e Zeck. Obrigada pela amizade, pelas festas, pelas idas à praia, pelas comilanças e, principalmente, por acalentarem meu coração e me fazerem enxergar o lado bom da vida. Obrigada por serem tão autênticos e verdadeiros. Amo vocês infinitamente!

Obrigada ao mini time, Bazinha, Julia e Rafa pela parceria de sempre e por terem compartilhado comigo tantas histórias que iremos contar para os netos. Às amigas que mesmo de longe se fazem presente, Soso, Ana Banana e Rafinha, vocês são parte dessa conquista e me fazem muita falta.

Agradeço às minhas primas e amigas Jocelane, por tudo que sempre fez e faz por mim, por jamais ter medido esforços pra me ajudar e me dar tanto carinho e compreensão, e Leticia, pelo convívio diário, pelas inúmeras risadas, pela companhia pra assistir The Voice e por sempre descarcar o abacaxi. Sem vocês, essa caminhada não teria sido tão boa quanto foi. Obrigada, amo vocês!

Agradeço as amigas do LAVEG e agregados, em especial minha orientadora Prof^a Ana Claudia por todos os ensinamentos e pela paciência durante a produção do trabalho, à Geni por ter me ensinado tanta coisa nova quando entrei para o laboratório, à Camilla pelas inúmeras tardes me ajudando com gráficos e dando ideias. À Roberta, Ana Paula, Elisa, Márcia, Anniely, Grazi, Maiby, obrigada pela amizade, companhia no laboratório e pelas incontáveis risadas. Vocês fizeram meu dia-a-dia muito mais leve.

À Universidade Federal de Santa Catarina, em especial aos técnicos do LAMEB (Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia) por toda infraestrutura e ajuda prestadas, e ao programa PIBIC/CNPq pela bolsa.

E a todos, que de alguma forma estiveram próximos a mim durante essa etapa. Vocês fizeram tudo valer à pena, cada minuto da minha vida.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Objetivos..... | 4 |
| 2.1 Objetivo Geral | 4 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 4 |
| 3. Material e métodos | 4 |
| 3.1 Área de Estudo..... | 4 |
| 3.2 Métodos | 8 |
| 4. Resultados | 9 |
| 4.1 Análise morfométrica do escapo | 9 |
| 4.2 Anatomia quantitativa e qualitativa do escapo..... | 10 |
| 4.3 Análise anatômica e histoquímica da raiz e rizoma | 12 |
| 5. Discussão | 17 |
| 6. Referências | 21 |

RESUMO

A mineração de carvão é uma atividade utilizada por indústrias siderúrgicas para geração de energia elétrica. Porém, os impactos desse processo vêm afetando consideravelmente o meio ambiente, através da liberação de efluentes, como a drenagem ácida de mina (DAM), ricos em metais pesados. Este trabalho analisou comparativamente a morfoanatomia de espécimes da macrófita *Eleocharis laeviglumis* ocorrente naturalmente em ambiente contaminado (DAM+), coletados em Siderópolis/SC, Lagoa Língua do Dragão, e ambiente não contaminado (DAM-), coletados em Florianópolis/SC, Lagoa Pequena. Amostras do escapo floral, rizoma e raízes foram fixados e processados de acordo com técnicas usuais em anatomia vegetal. No escapo, foram mensurados altura, diâmetro, área total, área proporcional do aerênquima em secção transversal (AA), altura total do parênquima paliçádico (APP) e da sua da camada mais externa (ACE) e densidade estomática (DE). No escapo, rizoma e raízes foram realizados testes histoquímicos padrão. Morfologicamente os indivíduos DAM(+) apresentam menor altura, maior diâmetro e maior área total do escapo, e anatomicamente, mostram menor APP, ACE, DE e maior AA em relação aos indivíduos DAM(-). A redução do tecido fotossintetizante em DAM(+) pode estar associada ao excesso de Fe disponível, o qual tende a interferir na distribuição de cálcio, essencial para a constituição das paredes celulares. O aumento da AA e diminuição da DE podem ser estratégias compensatórias para armazenar oxigênio e reduzir a área de transpiração, respectivamente, em condições de hipóxia. Os testes histoquímicos revelaram diferenças qualitativas entre os indivíduos analisados, quanto às fibras subepidérmicas do escapo, que apresentam-se mais espessadas em DAM(-), e raiz dos indivíduos DAM(-), cujas células da endoderme e exoderme apresentam-se lignificadas, o que não ocorreu em DAM(+). Os resultados obtidos indicam que *E. laeviglumis* é tolerante a DAM, apresentando variações estruturais em relação aos indivíduos ocorrentes em ambiente não contaminado por DAM.

PALAVRAS-CHAVES: macrófita, metais pesados, escapo, rizoma, raiz

1. Introdução

A mineração de carvão tem sua importância na indústria siderúrgica e geração de energia elétrica. Porém, essa atividade requer cuidadoso planejamento e conhecimento de novas tecnologias aplicáveis ao processo (KOPEZINSKI, 2000). No entanto, desde o início de sua colonização até os dias de hoje, o Brasil sofre o reflexo de uma atividade extrativa desordenada (POMPÊO et al., 2004). De todos os problemas apresentados à atividade de mineração de carvão, um dos mais significativos é a drenagem ácida de mina (DAM) (MELLO; ABRAHÃO, 1998).

A DAM é proveniente de transformações ocorridas no rejeito da mineração de carvão, onde o sulfeto, oriundo da forma predominante da pirita (FeS_2), é inicialmente oxidado e na sequência do processo é catalisado por bactérias, gerando efluentes com baixo pH e elevadas concentrações de metais, tais como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e sulfatos (MELLO; ABRAHÃO, 1998; ALEXANDRE, 1999).

Em Santa Catarina, a indústria carbonífera está presente no sul do Estado, e a poluição causada pela DAM afeta três bacias hidrográficas: Rio Araranguá, Rio Tubarão e Rio Urussanga, as quais vêm sofrendo com os danos ambientais desde o início do uso da mineração como fonte energética (MOURA, 2014). O último Relatório de Monitoramento de área degradada feito em 2009, estima que existam aproximadamente 6.400 hectares de áreas terrestres degradadas, além de cerca de 770 bocas de minas abandonadas, o que contribui para a contaminação das bacias e perda da vegetação. Até 2015, o cronograma de recuperação previa que 46% dessas áreas seriam recuperadas pelas empresas carboníferas responsáveis por cada área. (PROCURADORIA DA REPÚBLICA EM SANTA CATARINA, 2014).

Com acúmulo de minerais sulfetados, oriundos dos rejeitos da mineração, a água dos rios torna-se inadequada para fins domésticos, industriais ou agropecuários (BABBITT; LINDNER, 2005; RESTREPO, 2015). De acordo com Kopezinski (2000), as altas concentrações de metais pesados e outros elementos tóxicos contidos na DAM, podem estar associados ainda ao desmatamento, alteração da superfície topográfica e da paisagem, perda ou destruição de solos superficiais férteis, instabilização de encostas e terrenos em geral, alteração de corpos de água e de níveis freáticos e exposição de áreas aos fenômenos de dinâmica superficial, como erosão e assoreamento, alterando a saúde de todo o ecossistema (EFFLAND; POUYAT, 1997).

Uma vez absorvidos pelas plantas, os metais interferem no funcionamento fisiológico, bioquímico e estrutural destas, resultando em alterações na composição, rigidez, fluidez, fluxo hídrico e de nutrientes, redução no crescimento de tecido e de biomassa. Além disso, pode afetar o ciclo e divisão celular, principalmente de regiões meristemáticas da raiz, alteração no comprimento e diâmetro dos elementos de vasos, alteração na produção de clorofila, redução dos tecidos fotossintéticos e conseqüentemente no processo de fotossíntese, incluindo o estresse oxidativo (GEREMIAS et al., 2012).

Algumas espécies de macrófitas podem, em ambientes contaminados por metais, apresentar alta taxa de crescimento e capacidade de absorver e concentrar tais poluentes metálicos, muitas vezes sem apresentar sintomas de intoxicação (clorose ou necrose) (MOTTA MARQUES et al., 1997; ALVARENGA et al., 2007). Tais espécies estão inseridas no grupo das plantas as quais podem apresentar diversos mecanismos específicos permitindo a tolerância a metais pesados (SCHAT et al., 2000).

Segundo Schat (2000) esses mecanismos podem ser: *redução* da absorção pelas raízes; *imobilização* de íons tóxicos nas paredes celulares, evitando assim possível transporte via apoplasto; *quelatção* dos metais no citoplasma por meio de macromoléculas orgânicas ou inorgânicas, que se ligam aos íons metálicos (agentes quelantes); e *compartimentalização* onde há formação de complexos com ácidos orgânicos e inorgânicos no vacúolo (LARCHER, 2004). No entanto, o mecanismo pelo qual tais plantas podem adaptar-se e sobreviver em ambientes altamente metálicos (BATTY et al., 2000) e as relações dinâmicas entre plantas, organismos do solo e contaminação por metais não tem sido suficientemente exploradas (KRUMINS, 2015).

No município de Siderópolis (SC) ocorrem lagoas ácidas, as quais recebem a DAM proveniente das antigas cavas de mineração a céu aberto. Entre elas, encontra-se a lagoa “Língua do Dragão”, a qual apresenta águas com elevado nível de contaminantes, sendo considerada área crítica de difícil recuperação (MOURA, 2014). Entretanto, nesta lagoa ocorre naturalmente a macrófita *Eleocharis laeviglumis*, pertencente à família Cyperaceae, caracterizada por apresentar caule subterrâneo do tipo rizoma, ser áfila, com escapos cilíndricos e perenes, único órgão fotossintetizante, os quais, quando reprodutivos, possuem espiguetas cilíndricas, agudas e esverdeadas (TREVISAN; BOLDRINI, 2006).

Alguns trabalhos tem estudado a utilização de espécies de *Eleocharis* para a remoção de metais pesados do solo ou água contaminada. González-Elizondo et al. (2005) evidenciaram que *E. sarsenifera* S. González, J. A. Tena e T. Alarcón acumula arsênio em elevadas concentrações em seus tecidos, sendo classificada como planta tolerante a arsênio. Ha et al. (2011) expondo *E. acicularis* (L.) Roem. & Schult, em laboratório, a diferentes concentrações de Na, Ag, Pb, Cu, Cd, Zn, observou grandes concentrações desses metais acumulados em suas raízes. O que também foi observado por Lottermoser (2011) em *E. equisetina* C. Presl, coletadas em águas ácidas de minas abandonadas na Austrália, apresentando capacidade de reter elevadas concentrações de diversos metais em seus órgãos subterrâneos.

Os métodos físico-químicos convencionais estabelecidos para remediar os ambientes contaminados, são frequentemente caros, ambientalmente invasivos e não fazem uso eficaz dos recursos existentes, especialmente no caso de áreas contaminadas em grande escala (ASHRAF et al., 2011; MOURA, 2014). As plantas demonstram potencial para estabilizar a superfície e reduzir a erosão, tornando-se um meio alternativo de diminuir o risco ambiental representado pelos rejeitos de minas. Esta opção é chamada fitoestabilização e considera o uso de espécies vegetais tolerantes a metais para imobilizar metais pesados, através da absorção e acumulação pelas raízes ou precipitação dentro da rizosfera (WONG, 2003).

Silva (2015) comparou aspectos morfoanatômicos estruturais, ultraestruturais e alguns parâmetros ecofisiológicos do escapo de indivíduos de *E. laeviglumis* cultivados, em laboratório, com água contaminada e não contaminada por DAM. De acordo com os resultados da referida autora, *E. laeviglumis* pode ser considerada espécie tolerante a metais pesados, pois retém grande quantidade de metais, principalmente Fe no sistema radicular e apresenta boa eficiência fotossintética, apesar de ter menor crescimento do escapo em comparação com os indivíduos cultivados em ambiente desprovido de DAM.

Desta forma, no presente estudo, serão analisados comparativamente a morfoanatomia de indivíduos de *E. laeviglumis* ocorrente naturalmente em ambiente contaminado e não contaminado por DAM, a fim de identificar possíveis variações estruturais, as quais possam sugerir algum mecanismo de tolerância aos metais pesados, conforme observado por Silva (2015) em condições de cultivo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Comparar aspectos morfoanatômicos de *E. laeviglumis* ocorrente em ambiente contaminado e não contaminado por drenagem ácida de mina (DAM), com o objetivo de verificar se existem variações estruturais entre os indivíduos as quais possam ser indicativos de mecanismos de tolerância aos metais.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os aspectos morfométricos do escapo: altura, diâmetro e área total.
- Analisar a anatomia quantitativa do escapo: mensurando a área proporcional do aerênquima em secção transversal, número de camadas e altura das células do parênquima paliçádico e a densidade estomática.
- Analisar a anatomia qualitativa da raiz, rizoma e escapo através dos testes histoquímicos.

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

Espécimes de *Eleocharis laeviglumis* R. Trevis e Boldrini (Cyperaceae) foram coletados em duas áreas: a área 1 é a Lagoa Língua do Dragão localizada no município de Siderópolis, Sul do Estado de Santa Catarina (28°35' S; 49°27' O) (Figura 1). A lagoa recebe a drenagem dos efluentes provindos da Vila Funil, possuidores de grande quantidade de metais pesados resultantes do beneficiamento do carvão minerado na mina do Cantão, como óxido de ferro, que resulta na cor avermelhada da água, de onde provem o topônimo alusivo dado ao corpo aquoso. Como parâmetro, pode-se citar estimativas de pH entre 2,8 a 3,0, implicando em águas muito ácidas (NEVES; SAMBUGARO, 2007). Moura (2014) analisando os índices de metais na água e solo da Lagoa Língua do Dragão, observou que o Fe ocorre em maior concentração em relação a todos os metais analisados, tanto na água (140,8 mg.L⁻¹) como no solo (>20000,0 mg.Kg⁻¹). A concentração de Mg e Zn ultrapassou aproximadamente 200 vezes o limite permitido para água doce e o Ni ultrapassou 15 vezes o limite máximo de acordo com a

Resolução Conama 357/2005. No solo, o referido autor, também detectou altos índices de Pb e Zn.

A área 2, selecionada como área controle, sem comprometimento por atividade de mineração de carvão, foi a Lagoa Pequena (27°39'24"S; 48°28'41"W) localizada entre os bairros do Rio Tavares e Campeche, em Florianópolis. Possui uma área de 27,5 hectares - cerca de 270,5 mil m² (Figura 2), com águas consideradas levemente ácidas (TIRELLI, 2007). Não existem na área rios, ribeirões ou riachos, evidenciando que a Lagoa é a parte perceptível do lençol freático abastecido pelas águas da chuva (GERI, 2007).

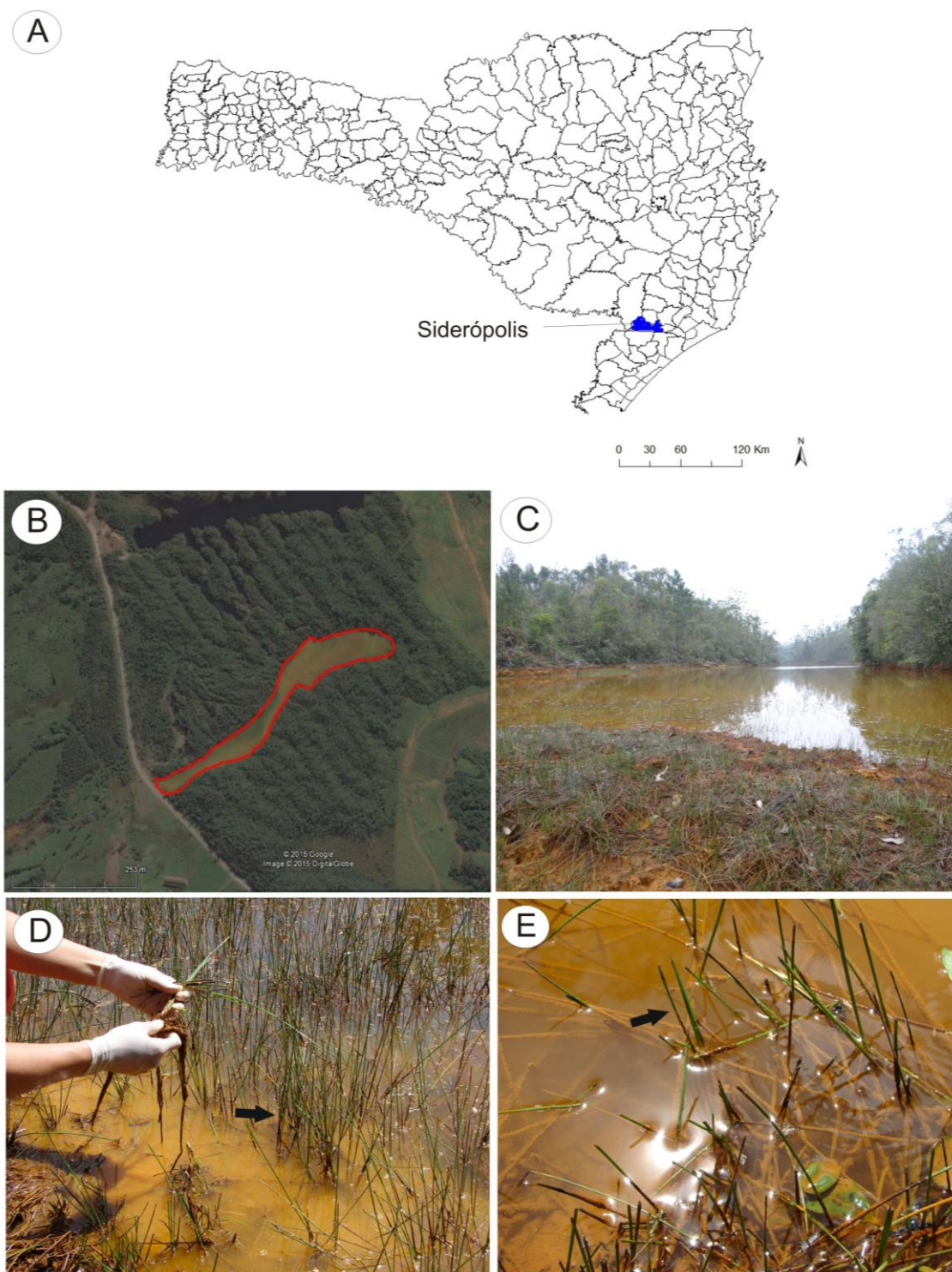


Figura 1: Área 1. (A) Localização do município de Siderópolis na região sul do Estado de Santa Catarina. (B) Imagem de satélite da Lagoa Língua do Dragão. (C) Visão geral da lagoa (D) e (E) Detalhes das margens da Lagoa indicando (seta) a ocorrência de *Eleocharis laeviglumis*.

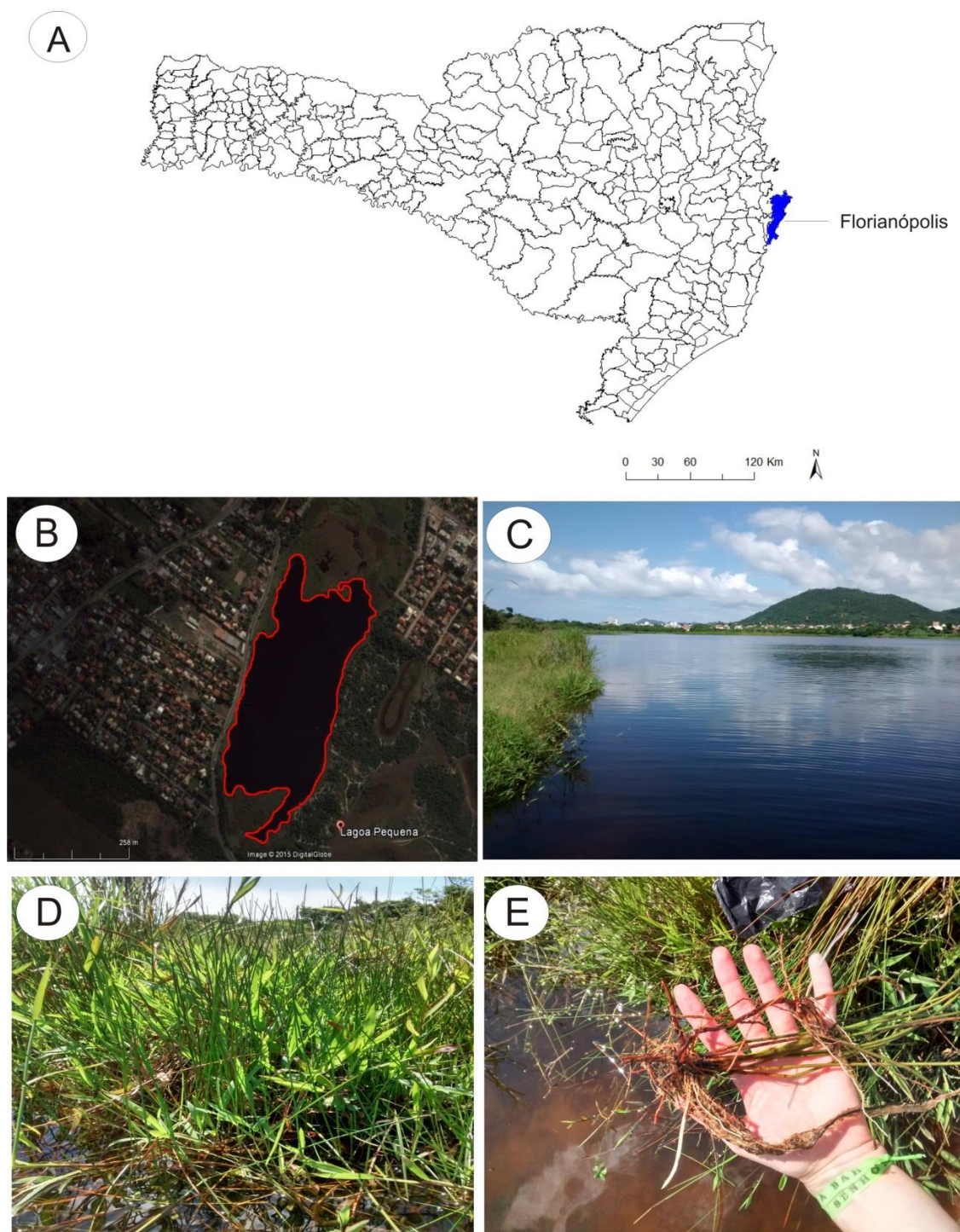


Figura 2: Área 2. (A) Localização do município de Florianópolis, Estado de Santa Catarina. (B) Imagem de satélite da Lagoa Pequena localizada no bairro Campeche, em Florianópolis. (C) Visão geral da lagoa. (D) Imagem de uma das margens da lagoa mostrando a presença de *Eleocharis laeviglumis* juntamente com outras espécies de macrófitas. (E) Imagem do momento da coleta de *Eleocharis laeviglumis*.

3.2 Métodos

Dos espécimes de *E. laeviglumis* coletados, dois de cada área, foram depositados no Herbário FLOR da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para as análises morfométricas foram coletados 18 indivíduos de cada ambiente, dos quais foram mensurados o comprimento e o diâmetro do escapo com auxílio de fita métrica e paquímetro digital (Steinlesshardenedv), respectivamente. Para a determinação da área do escapo, foi utilizada a equação: $A_t = 2\pi rh + 2\pi r^2$, onde A_t é a área total; π é uma constante equivalente a 3,14; r é o raio e h , a altura. Os dados obtidos foram apresentados em cm^2 .

Amostras da região mediana do escapo, rizoma e raiz de pelo menos três indivíduos, coletados em ambas as áreas, foram fixados em formalina neutra tamponada, FNT (KRAUS; ARDUIN, 1997, modificado) por 12h, lavadas três vezes em água destilada e, posteriormente, desidratadas em sequência etílica crescente, sendo armazenados em etanol 70° GL.

Para as análises anatômicas quantitativas do escapo, o material previamente fixado, foi infiltrado em hidroxietilmetacrilato (historesina Leica), de acordo com a metodologia modificada de Arnold et al., (1975). Os blocos foram seccionados transversalmente com espessura de 5 μm em micrótomo (Leica RM 2125) do Laboratório de Anatomia Vegetal. As secções foram coradas com Azul de Toluidina pH 5,8 (O'BRIEN et al., 1964).

A partir de secções transversais do escapo, foi mensurada a área proporcional do aerênquima pelo software *ImageJ* versão 1.32 (RASBAND, 2008) através da equação: $PA = A_a \cdot 100/A_t$, onde PA = Proporção do aerênquima, A_a = área total do aerênquima em secção transversal, A_t = área do órgão em secção transversal, cujos resultados foram expressos em %. Foram também medidos a altura das células epidérmicas, a espessura total do parênquima paliçádico e a altura das células da camada mais externa do parênquima paliçádico a partir de imagens capturadas em microscópio Leica, modelo DM 2500 com câmera acoplada Leica DFC 295 e analisadas pelo *software* Leica V3.7, do Departamento de Botânica de Universidade Federal de Santa Catarina.

Para o estudo da densidade estomática, foi realizada a dissociação epidérmica. Para tanto, amostras da região mediana do escapo foram colocados em placas de Petri com solução de peróxido de hidrogênio 30% e ácido acético glacial (2:1) em estufa a

60°C por 24h (FRANKLIN, 1945). Posteriormente, a epiderme foi lavada em água destilada, corada com Safranina 1% e montadas em lâminas semi-permanentes com gelatina glicerinada. A contagem foi realizada no mesmo equipamento e programa acima citado, em quadrado de dimensões 2048x1536 bpp.

Os dados quantitativos foram comparados por análise de variância ANOVA (one-way), seguido pelo teste t de Student com grau de significância ($\alpha = 0,05$) com o auxílio do programa Statistica 8.0.

Para as análises anatômicas qualitativas, as amostras de escapo, rizoma e raiz, previamente fixadas, foram seccionadas transversalmente à mão livre, com lâminas de barbear, usando suporte de isopor. Foram realizados os testes histoquímicos: Sudan, para lipídios e paredes cutinizadas (FOSTER, 1949), Floroglucinol em meio ácido, para lignina (JOHANSEN, 1940), cloreto férrico, para substâncias fenólicas (JOHANSEN, 1940) e Lugol para amido (JOHANSEN, 1940).

4. Resultados

4.1 Análise morfométrica do escapo

Os resultados encontrados mostraram que os indivíduos DAM(+) apresentam menor altura e maiores valores do diâmetro e área total do escapo floral em relação aos indivíduos DAM(-) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão, obtidos em análises morfológicas do escapo floral de *Eleocharis laeviglumis* coletados em ambiente contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM+) e não contaminado (DAM-). As letras minúsculas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

| Ambiente | Altura (cm) | Diâmetro (cm) | Área total (cm ²) |
|----------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| DAM(-) | 43,92±6,1 ^a | 0,16±0,03 ^b | 22,3±5,44 ^b |
| DAM(+) | 37,42±6,18 ^b | 0,23±0,02 ^a | 27,13±6,81 ^a |

4.2 Anatomia quantitativa e qualitativa do escapo

Em secção transversal (Figuras 3 A-D), o escapo apresenta contorno circular em ambos ambientes, entretanto, com maior diâmetro em DAM(+) (Tabela 1; Figuras 3A, C). A epiderme é unisseriada, com cutícula cuja reação é de igual intensidade quando submetido ao Sudan IV em ambos ambientes (Tabela 2). As células têm formato arredondado e parede altamente espessada nos indivíduos DAM(-) (Figura 3B), seguida por cordões de fibras subepidérmicas, que também apresentam-se altamente espessados em DAM(-), em comparação aos indivíduos do ambiente DAM(+) (Figura 3D). Os estômatos estão no mesmo nível das demais células epidérmicas em ambos os ambientes (Figuras 3 B, D). Em vista frontal, as células epidérmicas são alongadas no sentido longitudinal, com paredes anticlinais sinuosas e estômatos do tipo paracítico, distribuídos em fileiras longitudinais. A densidade estomática é estatisticamente maior em indivíduos DAM(-) (Tabela 3).

A região cortical é composta por parênquima paliádico contendo duas camadas, nos indivíduos DAM(+) e duas a três camadas nos indivíduos DAM(-) (Figuras 3 B, D). Há presença de idioblastos com compostos fenólicos, em ambos os ambientes (Tabela 2). Houve variação significativa na altura total e na altura da camada mais externa do parênquima paliádico, as quais são maiores nos indivíduos DAM(-) em relação aos indivíduos DAM(+) (Tabela 3).

O sistema vascular apresenta feixes vasculares colaterais, os quais se distribuem próximos ao córtex e na região medular (Figuras 3 A, C). Os feixes são envolvidos externamente por bainha de células parenquimática conspicuas e, internamente, por uma segunda bainha cujas células possuem paredes periclinais internas espessadas em “U” envolvendo o floema, as quais são relativamente mais espessadas nos espécimes coletados em DAM(-) (Figuras 3 B, D).

A região central é preenchida por aerênquima constituído por células parenquimáticas de paredes finas que delimitam grandes lacunas de ar. A área proporcional do aerênquima é estatisticamente maior nos indivíduos DAM(+) (Tabela 3). As lacunas podem ser interrompidas por diafragma constituído por uma única camada de células braciformes. Idioblóstos contendo compostos fenólicos foram observados apenas nos indivíduos DAM(-) (Tabela 2).

Tabela 2. Testes histoquímicos realizados no escapo floral de *Eleocharis laeviglumis*.

| Local de coleta | Conteúdo dos idioblastos | | | | | | Parede celular | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|----|----|-------|----|----|----------------|----|---------------|-----|----|------|----|
| | ClFe | | | Lugol | | | Sudan | | Floroglucinol | | | ClFe | |
| | PP | FV | AE | PP | AE | BF | CT | FS | FS | BF | CT | EP | FS |
| DAM (-) | +++ | ++ | ++ | -- | -- | -- | ++ | + | + | +++ | -- | -- | -- |
| DAM (+) | +++ | ++ | -- | -- | -- | -- | ++ | + | -- | + | -- | -- | + |

Legenda: Não reagiu (--); reação fraca (+); reação moderada (++) e reação intensa (+++). Aerênquima (AE), Bainha do Feixe (BF), Cutícula (CT), Epiderme (EP), Feixe Vascular (FV), Fibras Subepidérmicas (FS), Parênquima paliçádico (PP), Cloreto férrico (Clfe).

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão, obtidos em análises quantitativas do escapo floral de *Eleocharis laeviglumis* R. Trevis. E Boldrini coletados em substrato contaminado por Drenagem Ácida de Mina (DAM+) e não contaminado (DAM-). As letras minúsculas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

| Parâmetros do escapo | DAM(+) | DAM(-) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ACE (μm) | 34,4 \pm 4,75 ^b | 38,37 \pm 4,42 ^a |
| APP (μm) | 70,7 \pm 9,74 ^b | 92,71 \pm 16,05 ^a |
| AA (%) | 85,54 \pm 2,47 ^a | 77,95 \pm 3,63 ^b |
| DE (mm^2) | 60,85 \pm 16,17 ^b | 75,75 \pm 17,06 ^a |

Legenda: AA (área proporcional do aerênquima), ACE (altura da camada mais externa do parênquima paliçádico), APP (altura total do parênquima paliçádico), DE (densidade estomática).

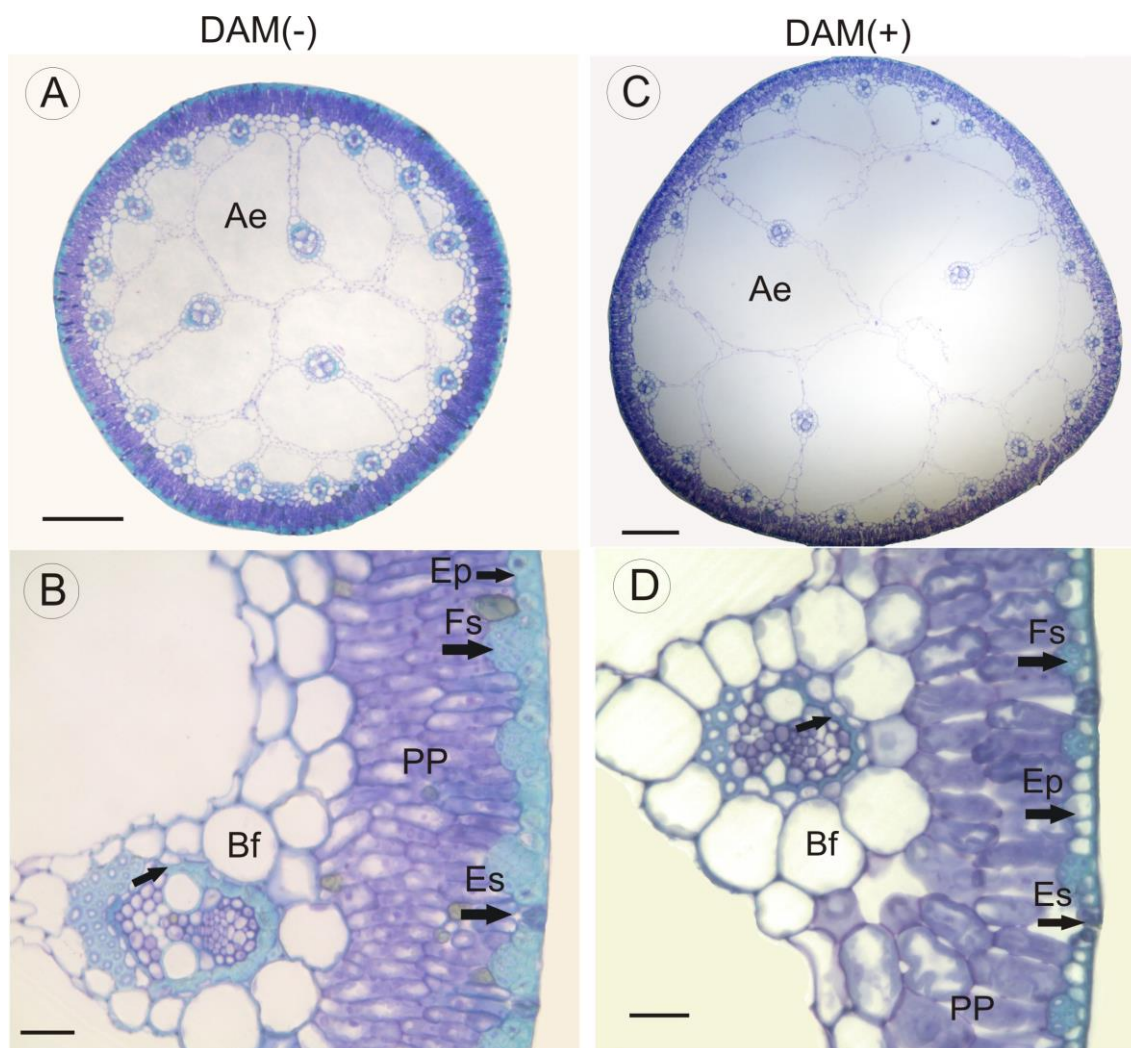


Figura 3. Fotomicrografias de secções transversais do escapo floral de *Eleocharis laevigulum*. **A-B.** Local não-contaminado por Drenagem ácida de mina DAM(-). **C-D.** Local contaminado DAM(+). Ae = Aerênquima, Bf = Bainha do feixe, Ep = Epiderme, Es = Estômato, FS = Fibras subepidérmicas, Id = Idioblásto, PP = Parênquima Paliçádico. Escalas: A-C: 300 μ m, B-D: 30 μ m.

4.3 Análise anatômica e histoquímica da raiz e rizoma

Em secção transversal da raiz, observa-se a epiderme unisseriada, com células de formato arredondado, com presença de pêlos radiculares e a região cortical com disposição radiada (Figura 4A). A exoderme é unisseriada, possuindo células arredondadas que, em DAM(-) são lignificadas, apresentando reação positiva para Floroglucinol acidificado (Figura 4B, Tabela 4). Na região central do córtex, observa-se

o aerênquima com disposição radiada, com células retangulares e arredondadas, e espaços intercelulares (Figura 4A). As células corticais mais internas são compactas com paredes espessadas, a endoderme apresenta-se fortemente espessada em “U” com reação positiva para Floroglucinol e Sudan IV indicando a presença de lamela e suberina e substâncias lipídicas (Figuras 4 C,D, Tabela 4).

O cilindro vascular é constituído externamente pelo periciclo seguido pelos tecidos vasculares, xilema e floema primários. O periciclo é unisseriado constituído de células parenquimáticas de onde se originam as raízes laterais. O protoxilema apresenta vários polos os quais se alternam-se com os cordões de floema, apresentando-se um raiz poliarca. No centro do cilindro vascular, observa-se a medula com células parenquimática (Figura 4C).

Tabela 4. Testes histoquímicos realizados na raiz dos indivíduos de *Eleocharis laeviglumis* R. Trevis. E Boldrini.

| Local de coleta | Conteúdo dos idioblastos | | | | | | Parede celular | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|----|-------|----|----|----|----------------|-----|---------------|----|----|------|----|
| | CIFe | | Lugol | | | | Sudan | | Floroglucinol | | | CIFe | |
| | CT | CV | CT | CV | EP | CI | EN | EX | CI | EN | EX | EP | CT |
| DAM (-) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | +++ | +++ | ++ | -- | ++ | + | -- |
| DAM (+) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

Legenda: Não reagiu (--); reação fraca (+); reação moderada (++) e reação intensa (+++). Cilindro Vascular (CV), Córtex Interno (CI), Cutícula (CT), Endoderme (EN), Epiderme (EP), Exoderme (EX).

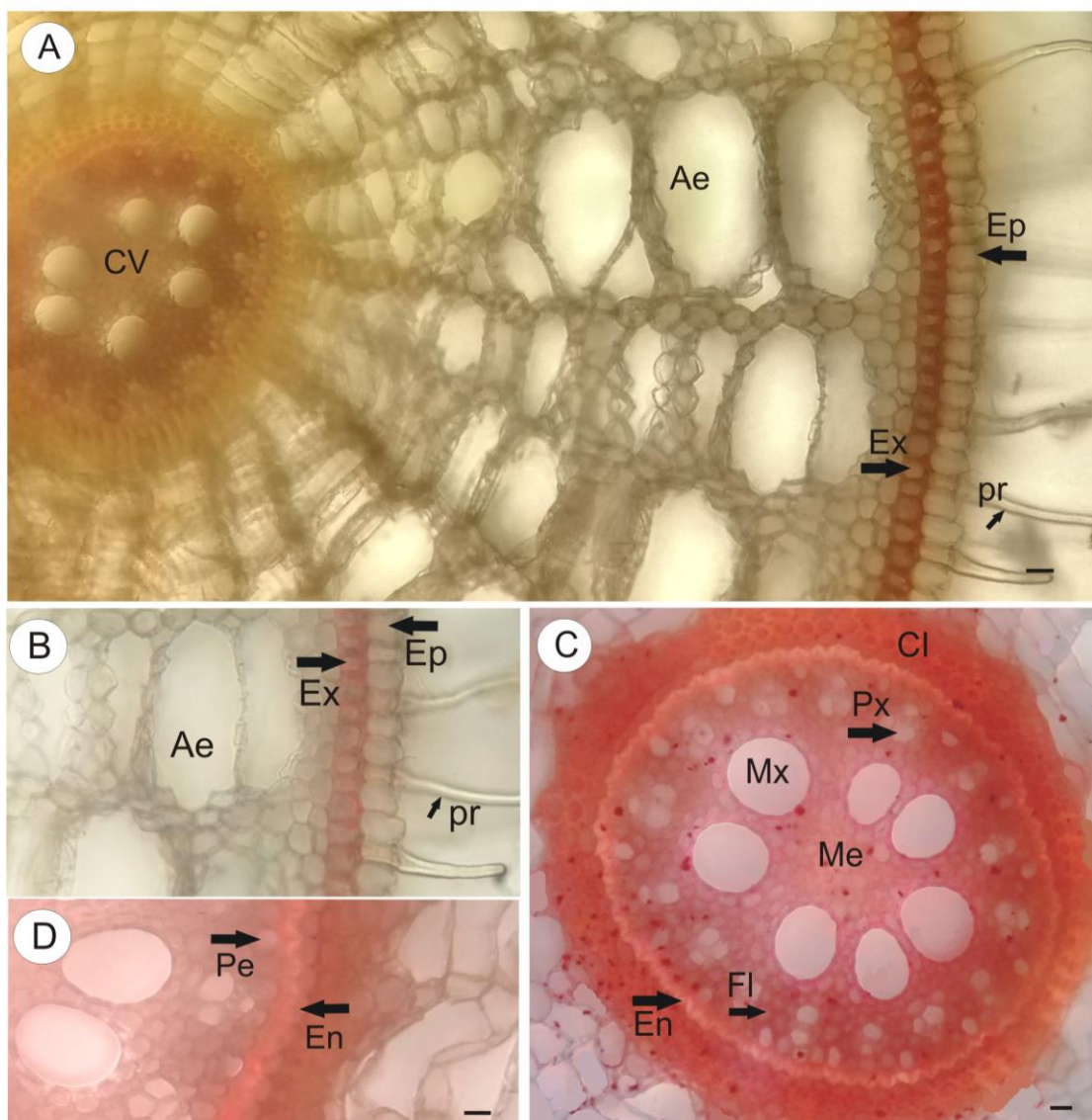


Figura 4. Secções transversais da raiz de *Eleocharis laevigulum*, coletados em ambiente DAM(-). (A) Vista geral. Com epiderme, córtex constituído de aerênquima e cilindro vascular. (B) Detalhe dos pêlos radiculares, epiderme unisseriada e exoderme espessada com reação positiva para floroglucinol. (C) Observam-se as células compactas do córtex interno e estrutura geral do cilindro vascular e medula parenquimática. (D) Detalhe da endoderme espessada e do periciclo unisseriado. Ae = aerênquima, CI = córtex interno, CV = cilindro vascular, Em = endoderme, Ep = epiderme, Ex = exoderme, Fl = floema, Me = medula, Mx = metaxilema, Pe = periciclo, Px = protoxilema. Escalas: A: 50µm, B-C-D: 30µm.

No rizoma, em secção transversal, observa-se a epiderme unisseriada, constituída de células com paredes espessadas (Figura 5 A, B, Tabela 5). Cordões de fibras subepidérmicas podem ser observados, os quais também apresentam compostos fenólicos em suas paredes, com maior intensidade nos indivíduos DAM(+) em relação aos indivíduos DAM(-) (Tabela 5). O córtex apresenta-se dividido em córtex externo e interno (Figura 5A). Nas células do córtex externo observa-se a formação de aerênquima e as do córtex interno possuem arranjo compacto e são relativamente menores (Figura 5A). A endoderme apresenta células de formato arredondado, paredes finas (Figura 5D), e com reação positiva para Sudan IV nos dois tratamentos (Tabela 5). No cilindro vascular, o periciclo é pouco diferenciado das demais camadas e apresenta-se plurisseriado (Figura 5D). Os feixes vasculares encontram-se distribuídos na periferia formando um anel, os quais são do tipo anfigasal (Figura 5 C-D). Na região central ocorre a medula, formada por tecido parenquimático (Figura 5C). Por todo cilindro vascular, pode-se observar a presença de idioblastos com compostos fenólicos em ambos ambientes e com grãos de amido apenas em DAM(+) (Tabela 5).

Tabela 5. Testes histoquímicos realizados no rizoma dos indivíduos de *Eleocharis laeviglumis* R. Trevis. E Boldrini.

| Local de coleta | Conteúdo dos idiob. | | | Parede celular | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-----|-------|----------------|-----|-----|-----|----------|----|------|-----|----|
| | CIFe | | Lugol | Sudan | | | | Florogl. | | CIFe | | |
| | CI | CV | CV | EP | CT | FS | EN | FS | EN | EP | FS | CI |
| DAM (-) | ++ | +++ | -- | +++ | +++ | +++ | +++ | + | -- | +++ | ++ | ++ |
| DAM (+) | -- | -- | ++ | +++ | +++ | ++ | ++ | -- | -- | +++ | +++ | ++ |

Legenda: Não reagiu (--); reação fraca (+); reação moderada (++) e reação intensa (+++). Cilindro Vascular (CV), Córtex Interno (CI), Cutícula (CT), Endoderme (EN), Epiderme (EP), Exoderme (EX), Fibras subepidérmicas (FS).

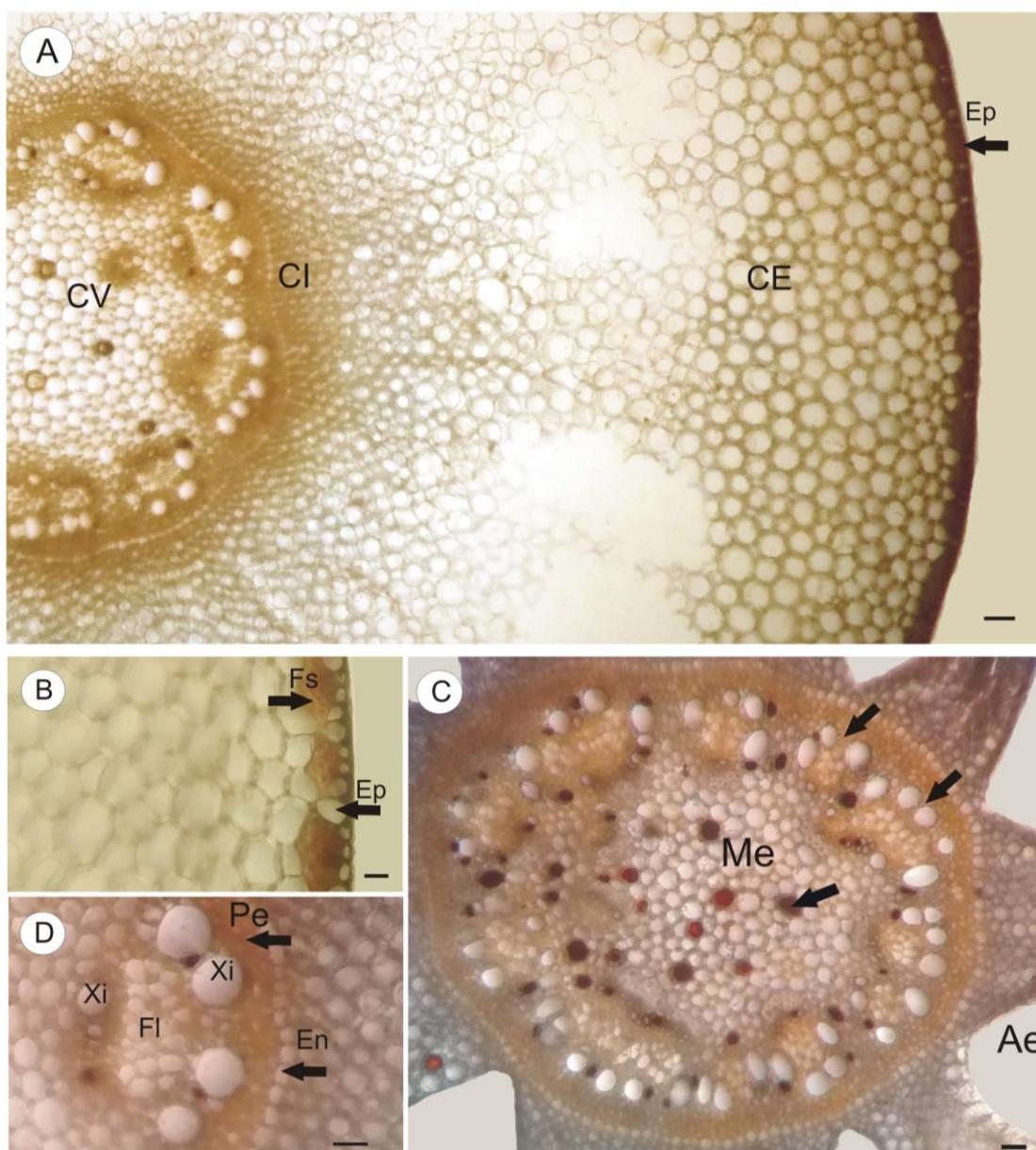


Figura 5. Secções transversais do rizoma de *Eleocharis laeviglumis*. A, B coletados em DAM(+); C,D coletados em DAM(-). (A) Vista geral. (B) Detalhe mostrando epiderme unisseriada, fibras subepidérmicas e córtex externo. (C) Observam-se o aerênquima e o cilindro vascular. Os feixes vasculares encontram-se distribuídos na periferia formando um anel. Observam-se a medula parenquimática e idioblastos com compostos fenólicos (seta preta). (D) Detalhe da endoderme e do feixe vascular anfivascular. Ae = aerênquima, CE = córtex externo, CI = córtex interno, CV = cilindro vascular, Em = endoderme, Ep = epiderme, Fs = fibras subepidérmicas, Fl = floema, Me = medula, PE = periciclo, Xi = xilema. Escalas: A: 100 μ m, B: 30 μ m, C-D: 50 μ m.

5. Discussão

Os indivíduos de *E. laeviglumis* ocorrentes em ambiente DAM(+) mostraram características morfológicas do escapo floral estatisticamente diferentes em relação aos indivíduos DAM(-).

Segundo Moura (2014), o pH da Lagoa Língua do Dragão varia entre 2,51 e 3,34, considerados valores ácidos. Em pH ácido, os metais existem em sua forma livre, na forma de íons, com maior mobilidade, tornando-se mais disponíveis para serem absorvidos pelas plantas e microrganismos (CHAUDRI et al., 2000). O excesso de determinados elementos tóxicos, pode interferir de maneira desfavorável na absorção e na translocação dos elementos essenciais para a planta (RAI et al., 2005; SHARMA; DUBEY, 2005; PANDEY et al., 2007). Desta forma, isso explicaria a menor altura dos escapos observada nos indivíduos DAM(+) de *E. laeviglumis*, já que o excesso de metais livres na água, compete pelos sítios de ligação de carreadores presentes na membrana plasmática, utilizados pelos elementos essenciais para o crescimento da planta, causando redução da absorção desses elementos e consequentes distúrbios nutricionais, os quais podem interferir no desenvolvimento da planta (ARDUINI et al., 1998).

Assim como observado por em Gomes (2011) em *Brachiaria decumbens* e Silva (2015) em *E. laeviglumis*, no presente estudo observamos também redução na densidade estomática nos indivíduos de *E. laeviglumis* DAM(+), o que pode ser considerado como uma estratégia compensatória, pois a menor densidade estomática reduz a área de transpiração e, conseqüentemente, reduzir a quantidade de translocação de metais para parte aérea reduzindo o estresse causado pelos mesmos.

O maior diâmetro e área total do escapo observados nos indivíduos DAM(+) tem relação direta ao aumento da área de aerênquima. A presença de aerênquima é comum em plantas aquáticas, servindo para trocas gasosas e flutuação (DREW et al., 2000, DICKISON, 2000). Enquanto o padrão de desenvolvimento do aerênquima é bem estudado em raízes, pouco se conhece sobre a origem e desenvolvimento deste em caules, já que o caule é considerado uma estrutura complexa consistindo de vários órgãos como folhas, pedúnculos (JUNG et al., 2008) e escapos.

De modo geral, o aerênquima, principalmente aquele das raízes e rizomas, pode desenvolver-se principalmente por desintegração de células, em que a deficiência de

oxigênio, promove a produção de etileno, pelo estímulo anaeróbico, causando aumento na atividade da celulase, que conduz a desintegração de células e, conseqüentemente o desenvolvimento do aerênquima (FAHN, 1982; SOUZA, 2009). Em comparação com os trabalhos de Seagle (2005) e Jung et al., (2008), possivelmente o padrão do aerênquima no escapo de *E. laeviglumis* pode se enquadrar em dois tipos, aerênquima favo de mel ou aerênquima folha, respectivamente, ambos esquizógenos expansivos.

Os espaços intercelulares esquizógenos podem ser formados através da separação da lamela média das paredes das células adjacentes (JACKSON; ARMSTRONG, 1999). De acordo com Ishizaki (2015) a formação dos espaços intercelulares esquizógenos é devido à mecanismos moleculares específicos os quais regulam os sítios de separação de células e coordenam a extensa reorganização das paredes celulares.

Embora não se conheça efetivamente o padrão de desenvolvimento do aerênquima em órgão como o escapo e como não se conhece nenhum relato sobre a ação do etileno nesses órgãos, acreditamos que possivelmente o ambiente contaminado por DAM, possa de alguma forma interferir nos processos, e possivelmente está relacionado ao aumento proporcional deste tecido nos indivíduos de *E. laeviglumis*, favorecendo o armazenamento de O₂.

A redução da altura do parênquima paliçádico, bem como da altura da sua camada mais externa observada nos indivíduos DAM(+), pode representar um estresse causado pelos metais pesados contidos no ambiente, conforme relata Barceló e Poschenrieder (1992) e Silva (2015). Outros estudos têm demonstrado a redução dos tecidos fotossintetizantes por excesso de metais pesados no solo, como Bini et al. (2012) que, avaliando as respostas de *Taraxacum officinale* Web crescendo em substrato com altas concentrações de Cu, Fe, Zn, observaram que o parênquima esponjoso apresentou poucas células arredondadas com grandes espaços intercelulares, o parênquima paliçádico praticamente ausente, e redução da espessura da folha, em comparação com amostras de local não contaminado. Santana (2014), submetendo *Setaria parviflora* (Poir.) Kerguelen a diferentes concentrações de ferro, notou alterações nas células da epiderme, desorganização das células do mesófilo à medida que as concentrações de Fe aumentavam. Segundo Santana et al. (2014), uma quantidade excessiva de Fe no substrato, pode reduzir a parte aérea devido ao desarranjo nutricional, uma vez que o Fe

pode interferir nos teores de nitrogênio, potássio e cálcio. O cálcio atua na composição estrutural das paredes celulares e na regulação da permeabilidade da membrana plasmática (MARSCHNER, 1995).

Moura (2014) analisando os índices de metais na água e solo da Lagoa Língua do Dragão, observou que o Fe ocorre em maior concentração em relação a todos os metais analisados, tanto na água (140,8 mg.L⁻¹) como no solo (>20000,0 mg.Kg⁻¹), o que nos permite evidenciar a possível interferência desse metal no desenvolvimento do parênquima paliçádico em *E. laeviglumis*. Chama-se atenção, entretanto, que segundo Silva (2015) a menor altura do parênquima paliçádico, também observado por ela em *E. laeviglumis*, cultivado em DAM(+), não foi limitante para alterar a estrutura dos cloroplastos bem como o seu desempenho fotossintético o qual manteve-se normal em relação aos indivíduos cultivados em DAM(-).

No escape floral ainda, o maior espessamento das paredes, tanto das células epidérmicas quanto das fibras subepidérmicas e das fibras dos feixes vasculares, observadas nos indivíduos DAM(-), possivelmente indicam estresse salino, hídrico e de fortes ventos sofridos por plantas ocorrentes em ambientes de restinga, aumentando a resistência mecânica e evitando a desidratação (FAHN; CUTLER, 1992, MARTINS et al., 2008). Tais espessamentos não foram observados nos indivíduos DAM(+) corroborando o trabalho de Silva (2015) onde tanto os indivíduos DAM(-) e DAM(+) não apresentaram os espessamentos, já que o trabalho foi experimental, em casa de vegetação e livre dos respectivos estressores citados acima.

Segundo Metcalfe (1971), o rizoma é o principal caule subterrâneo encontrado nas espécies de Cyperaceae. É um órgão de resistência e armazenamento de nutrientes além de ser o principal meio pelo qual uma única planta pode cobrir grandes áreas, devido ao seu crescimento contínuo (HOLTTUM, 1995).

As análises histoquímicas realizadas nas raízes e rizoma de modo geral não mostraram diferenças qualitativas entre os ambientes analisados. Nas raízes, destacamos o maior espessamento da endoderme e exoderme nos indivíduos DAM(-) com presença de lamela de suberina e de lignina, em contraste com a ausência desses compostos nos indivíduos DAM(+). O espessamento das células da endoderme e exoderme são comuns em plantas vasculares (ESAU, 1974) e desempenham importante barreira para a rota apoplástica de solutos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Apesar dos indivíduos presentes em

DAM(+) não apresentarem o espessamento dessas células, acredita-se que as estrias de Caspary, já identificadas em outras espécies da família Cyperaceae (RODRIGUES; ESTELITA, 2004; SANTOS et al., 2012), estejam atuando como barreira evitando em grande quantidade a passagem dos elementos tóxicos para o restante da planta.

De acordo com Silva (2015), os indivíduos de *E. laeviglumis* cultivados em DAM(+) apresentaram maior retenção do percentual médio dos elementos Fe e Si, seguidos por Cu, Al, S, Mo e Mg, Zn, Mo e Ca na raiz, seguido pelo rizoma, sendo, nestes órgãos, a epiderme o tecido com as maiores taxas percentuais, ocorrendo diminuição gradual nos tecidos mais internos, permitindo que pequena quantidade chegue nas partes aéreas, tanto do Fe como dos demais elementos. Segundo Moura (2014) as espécies sujeitas a DAM como *E. laeviglumis* apresentam associações com bactérias, que podem trazer benefícios às mesmas, como por exemplo, a remoção dos metais pesados e tais associações estão em maior quantidade na raiz dessas espécies.

No rizoma, destacamos a presença de grãos de amido no parênquima do cilindro vascular nos indivíduos DAM(+) conforme também observado por Silva (2015). A sacarose é o principal carboidrato translocável das plantas, podendo ser armazenada nos vacúolos celulares até o momento de ser metabolizada (FARRAR et al., 2000). Sendo assim, a presença de amido nos rizomas dos indivíduos coletados em DAM(+) pode ser uma estratégia adaptativa da espécie para armazenar maior quantidade de substâncias de reserva, uma vez que está sob condição de estresse.

Os resultados morfoanatômicos quantitativos e qualitativos observados no presente estudo, corroboram aos observados por Silva (2015), mostrando que indivíduos de *E. laeviglumis* ocorrente em DAM(+) apresentam variações estruturais em comparação aos indivíduos ocorrentes em DAM(-), as quais a tornam espécie naturalmente tolerante à DAM, podendo ser utilizada, em estudos futuros, em processos de fitorremediação, como a fitoestabilização, em ambientes aquáticos poluídos por DAM.

6. Referências

ALEXANDRE, N. Z. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: Degradação dos Recursos Naturais. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v.5, n.2, 1999.

ALVARENGA, P.; PALMA, P.; GONÇALVES, A. P.; FERNANDES, R. M.; CUNHA-QUEDA, A. C.; DUARTE, E.; VALLINI, G. Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. **Enviromental International**, v. 33, p. 505-513, 2007.

ARDUINI, L.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A.; STEFANI, A. Heavy metals influence mineral nutrition of tree seedlings. **Chemosphere**, v. 36, p. 739-744, 1998.

ARNOLD, W.; MITRENGA, D.; MAYERSBACH, H. Gefriertrocknung und einbsttung in glycolmethacrylat (GMA) ergebnisse histochemischer reaction. **Acta Histochemistry**, v 14, p. 271-277, 1975.

ASHRAF, M. A.; MAAH, M. J.; YUSOFF, I. Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 8, p. 401-416, 2011.

BABBITT, C. W.; LINDNER, A. S. A life cycle inventory of coal used for electricity production in Florida. **Journal Cleaner Production**, v.13, n. 9, p. 903-912, 2005.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. H. M. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelos y Planta**, v. 2, p. 345 361, 1992.

BATTY, L. C.; BAKER, A. J. M.; WHEELER, B. D.; CURTIS, C. D. The effect of pH and plaqueon the uptake of Cu and Mn in *Phragmitesaustralis* (Cav.) Trin ex. Steude. **Annals of Botany**, v. 86, n. 647, p. 653, 2000.

BINI, C.; WAHSHA, M.; FONTANA, S.; MALECI, L. Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacumofficinale*Web growing on mine soils in NE Italy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 123, p. 101-108, 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em 18 de outubro de 2015.

CHAUDRI, A. M.; ALLAIN, C. M. G.; JEFFERSON, V. L. B.; NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J.; McGRATH, S.P. A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long-term fields experiment. **Plant and Soil**, v. 221, p. 167-179, 2000.

CHEN, S. L.; KAO, C. H. Prior temperature exposure affects subsequent Cd-induced ethylene production in rice leaves. **Plant Science**, v. 104, p. 135-138, 1995.

DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy**. USA: Harcourt-Academic Press, 2000. 533 p.

DREW, M. C.; HE, C. J; MORGAN, P. W. Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 123-127, 2000.

EFFLAND, W. R.; POUYAT, R. V. The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. **Urban Ecosystems**, v. 1, 217-228, 1997.

ESAU, K. Anatomy of seed plants. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 550

FARRAR, J.; POLLOCK, C.; GALLAGHER, J. Sucrose and the integration of metabolism in vascular plants. **Plant Science**, n. 154, p. 1-11, 2000.

FAHN, A. **Plant Anatomy**. Oxford: Pergamon Press., 1982. 544p.

FAHN, A. & CUTLER, D. F. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1992.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood-resin composites, and a new marcerating method for wood. **Nature** 3924:51.

GERI, M. C. A. **Conflitos socioambientais na Zona Costeira – Estudo de caso sobre a Lagoa Pequena na Planície do Campeche, município de Florianópolis, SC**. 2007. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GEREMIAS, R.; BORTOLOTO, T.; WILHELM-FILHO, D.; PEDROSA, R. C.; DE FAVERE, V. T. Efficacy assessment of acid mine drainage treatment with coal mining waste using *Allium cepa* L. as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 79, p. 116-121, 2012.

GIL, A. S. B.; BOVE, C. P. O gênero *Eleocharis* R. Br. (Cyperaceae) nos ecossistemas aquáticos temporários da planície costeira do Estado do Rio de Janeiro. **Arquivo do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p. 131-150, 2004.

GOMES, M. P.; MARQUES, T. C. L. L. S. M., NOGUEIRA, M. O. G., CASTRO, E. M.; SOARES, A. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens*. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 566-573, 2011.

GONZÁLEZ-ELIZONDO, M. S.; TENA-FLORES, J. A.; ALARCÓN-HERRERA, M. A. T.; FLORES-TAVIZÓN, E.; BARAJAS-ACOSTA, N. Naarsenic-tolerant new species of *Eleocharis* (Cyperaceae) from Chihuahua, México. **Brittonia**, v. 57, p. 150-154, 2005.

HA, N. T. H.; SAKAKIBARA, M.; SANO, S. Accumulation of Indium and other heavy metals by *Eleocharis acicularis*: An option for phytoremediation and phytomining. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 2228-2234, 2011.

HOLTTUM, R. E. Growth-habits of monocotyledons – variations on the theme. **Phytomorphology**, v. 5, p. 399-413, 1955.

ISHIZAKI, K. Development of schizogenous intercellular spaces in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 497, 2015.

JACKSON, M. B.; ARMSTRONG, W. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**, v. 1, p. 274–287, 1999.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Will, 1940.

JUNG, J.; LEE, S. C.; CHOI, H. K. Anatomical patterns of aerenchyma in aquatic and wetland plants. **Journal of Plant Biology**, v. 6, p. 428-439, 2008.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, A. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Seropédica, 1997. 198p.

KRUMINS, J. A.; GOODEY, N. M.; GALLAGHER, F. Plante-soil interactions in metal contaminated soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 80, p. 224-231, 2015.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, RIMA, 2004. 532 p.

LOTTERMOSER, B. G.; ASHLEY P. M. Trace element uptake by *Eleocharis equisetina* spike rush in an abandoned acid mine tailings pond, northeastern Australia: Implications for land and water reclamation in tropical regions. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 302-3035, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. New York: Academic, 1995. 889p.

MARTINS, S.; MACHADO, S. R.; ALVES, M. Anatomia e ultra-estrutura foliar de *Cyperus maritimus* Poir. (Cyperaceae): estratégias adaptativas ao ambiente de dunas litorâneas. **Acta Botânica Brasileira**, v. 2, n. 22, p. 493-503, 2008.

MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P. **Geoquímica da drenagem ácida. In: Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, p. 45-57, 1998.

METCALFE, C.R. **Anatomy of the monocotyledons. Cyperaceae**. London: Oxford University Press, 1971. 237-250 p.

MOTTA MARQUES, D. M. L.; PINHEIRO, C. B.; E CRISMAN, T. L. **The effectiveness of constructed wetlands to manage coal acid mine drainage without external electron acceptors advanced waste water treatment process**. University of Leeds Conference, UK., 1997.

MOURA, J. M. **Microrganismos endofíticos associados à planta de ambientes impactados e não impactados pela Drenagem Ácida de Mina de carvão (DAM)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014.

NEVES, J.; SAMBUGARO, M. L. **Revista Discente Expressões Geográficas**. Florianópolis/SC, v. 2, p. 145-164, 2007.

O'BRIEN, T. P.; FEDERN; MCCULLY M. Polychromatic staining of plant cell walls by Toluidine Blue O. **Protoplasma**, v. 2, p. 367-373, 1964.

PANDEY, S.; GRUPTA, K.; MUKHERJEE, A. K. Impact of cadmium and lead on *Catharanthus roseus* - A phytoremediation study. **Journal of Environmental Biology**, v. 28, p. 655-662, 2007.

PROCURADORIA DA REPUBLICA EM SANTA CATARINA. **Portal da Ação Civil Pública do Carvão**. Disponível em <www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/index.php>. Acesso em: 18 outubro 2015.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; ALEXANDRE, N. Z.; SANTO, E. Qualidade da água em região alterada pela mineração de carvão na microbacia do rio Fiorita (Siderópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 125-136, 2004.

RAI, V.; KHATOON, S.; BISHT, S. S.; MEHROTRA, S. Effect of cadmium on growth, ultramorphology of leaf and secondary metabolites of *Phyllanthus amarus* Schum. and Thonn. **Chemosphere**, v. 61, p. 1644-1650, 2005.

RASBAND, W.; **ImageJ documentation**. Disponível em: <www.rsb.info.nih.gov>. Acesso em: 13 julho 2015.

RESTREPO, A; BAZZO, E; MIYAKE, R. Life cycle assessment of the Brazilian coal used for electric power generation. **Journal of Cleaner Production**, p 1-8, 2015.

RODRIGUES, A. C.; ESTELITA, M. E. M. Anatomia da raiz de *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae) em desenvolvimento. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.4, p. 629-638, 2004.

SANTANA, B. V. N.; ARAÚJO, T. O.; ANDRADE, G. C.; FREITAS-SILVA, L.; KUKI, K. N.; PEREIRA, E. G.; AZEVEDO, A. A.; MARSCHNER SILVA, L. C. Leaf

morphoanatomy of species tolerant to excess iron and evaluation of their phytoextraction potential. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 250-256, 2014.

SANTOS, P. P.; POTIGUARA, R. C. V.; LINS, A. L. F. A.; MACEDO, E. G. Caracterização morfoanatômica dos caules de *Cyperus articulatus* L. e *C. prolixus* H.B.K. (Cyperaceae). Boletim do Museu Paranaense Emilio Goeldi Ciências Naturais, vol.7, n.1, p. 47-55, 2012.

SCHAT, H.; LLUGANY, M.; BERNHARD, R. Metal-specific patterns of tolerance, uptake and transport of heavy metals in hyperaccumulating and non hyperaccumulating metallophytes. En: Terry N. y Banuelos G. Eds. **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water**, Florida, p. 171-188, 2000.

SEAGO, J. L.; MARSH, L. C.; STEVENS, K. J.; SOUKU, A.; VOTRUBOVÁ, O.; ENSTONE, D. E. A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. **Annals of Botany**, v. 96, p. 565-579, 2005.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Lead toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, p. 35-52, 2005.

SILVA, C. R. A. **Efeitos da drenagem ácida de mina de carvão (DAM) sobre a morfoanatomia, ultraestrutura e ecofisiologia de *Eleocharis laevigumis* (Cyperaceae)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Anatomia Vegetal), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOUZA, V. L.; SILVA, D. C.; SANTANA, K. B.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. F.; MANGABEIRA P. A. O.; ROCHA, E. A. Efeitos do cádmio na anatomia e na fotossíntese de duas macrófitas aquáticas. **Acta Botânica Brasileira**, v. 2, p. 343-354, 2009.

STEUDLE, E. **Water uptake by roots: effects of water deficit.** Journal of Experimental Botany, 2000. p.1531-1542.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2004. p.449-484.

TIRELLI, J.; BURGOS, R.; BARBOSA, T. C. P. O campo de peixes e os senhores do asfalto: memórias das lutas do Campeche. **Florianópolis: Cidade Futura**, p. 107-108, 2007.

TREVISAN, R.; FERREIRA, P. M. A.; BOLDRINI, I. I. A família Cyperaceae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências**, v. 217, p. 244, 2008.

WONG, M. H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Chemosphere**, v. 50, p. 775-780, 2003.

WU, X.; LIN, J.; ZHU, J.; HU, Y.; HARTMANN, K.; SCHREIBER, L. 2003. **Casparian strips in needles of *Pinus bungeana*: isolation and chemical characterization.** Physiologia Plantarum, v. 117, p. 421-424.